

УДК 629.7.071

DOI: 10.26467/2079-0619-2020-23-6-40-52

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ АЛГОРИТМА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЗОН ОПЕРИРОВАНИЯ ДАЛЬНЕМАГИСТРАЛЬНЫХ САМОЛЕТОВ

К.А. КУЦ¹*¹ Санкт-Петербургский государственный университет гражданской авиации,
г. Санкт-Петербург, Россия*

Определение зон оперирования от маршрутных запасных аэродромов для дальнемагистральных самолетов авиакомпании является важным аспектом обеспечения безопасности предстоящего полета. В отечественной и зарубежной методической литературе по планированию полетов, в том числе в инструктивном материале к системам планирования полетов отсутствует единый обоснованный алгоритм построения зон оперирования дальнемагистральных самолетов в том числе и при использовании правил EDTO-ETOPS. Отсутствие методических материалов приводит к «свободному» определению авиакомпаниями значений зон оперирования для своих дальнемагистральных самолетов при построении маршрутов, в частности при определении зон оперирования на маршрут игнорируется уменьшение массы самолета в процессе сгорания топлива. Большой вопрос вызывает и вычисление «первоначальной» массы для определения значения зоны оперирования. В статье выявлены недостатки существующего алгоритма определения зоны оперирования на основании фундаментальных методов определения зоны оперирования. С помощью Microsoft Excel 2019 проведена полиномиальная аппроксимация таблично заданной функции зависимости радиуса зоны оперирования от массы дальнемагистрального самолета. На основе определенных уравнений разработан более совершенный алгоритм определения зон оперирования. Особое внимание в новом алгоритме уделено выбору исходного значения зоны оперирования. Расчеты в статье выполнены для Boeing 777 как для основного типа дальнемагистрального самолета, эксплуатирующегося в авиакомпаниях Российской Федерации. Разработанный алгоритм повышает гибкость прокладки маршрута за счет увеличения радиуса зоны оперирования от маршрутных запасных аэродромов и может быть использован в системах планирования полетов авиакомпаний.

Ключевые слова: зона оперирования, маршрутный запасной аэродром, EDTO, ETOPS, скорость ухода при отказе двигателя OEI, скорость ухода при всех работающих двигателях AEO, дальнемагистральный самолет, Боинг 777.

ВВЕДЕНИЕ

Начало эксплуатации дальнемагистральных самолетов зарубежного производства в авиакомпаниях Российской Федерации в 90-х годах потребовало существенного пересмотра методов и средств планирования полетов [1]. Одним из вопросов, подлежащих методическому разъяснению, был вопрос определения зоны оперирования (ЗО) дальнемагистрального самолета (ДМС) при полете с использованием правил ETOPS и/или EDTO (с 2012 года). В нормативных документах для планирования полетов приведены выражения типа: «каждая точка маршрута должна пролетать не далее X минут полета в штатных условиях стандартной атмосферы от подходящего маршрутного запасного аэродрома»^{1,2}. Понятно, что на карте или в системе планирования при прокладке маршрута не построить «время» от выбранного маршрутного запасного аэродрома (МЗА), и, очевидно, что необходимо «преобразовать» время в единицы расстояния – морские мили Nautical Mile (NM).

Для перевода времени в единицы расстояния эксплуатанты используют специальные таблицы, предоставляемые производителем ДМС, где указаны радиусы ЗО, соответствующее, например, Boeing публикует для каждого типа ДМС отдельное руководство по планированию полетов и летным характеристикам Flight Planning and Performance Manual (FPPM). В руковод-

¹ Приложение 6. Эксплуатация воздушных судов. Часть I. Международный коммерческий воздушный транспорт. Самолеты. 10-е изд. Монреаль: ИКАО, июль 2016.

² Федеральные авиационные правила «Подготовка и выполнение полетов в гражданской авиации Российской Федерации», утв. Приказом Минтранса РФ от 31 июля 2009 г. № 128.

стве содержатся таблицы соответствия значений времени и единиц расстояния – зона оперирования Area of Operation. Эксплуатант выбирает значение радиуса ЗО для своих типов ДМС и публикует его в своем руководстве по производству полетов, например, у многих авиакомпаний Российской Федерации представлена таблица следующего типа (табл. 1).

Таблица 1
Table 1

Радиусы зон оперирования ДМС авиакомпании Y
Radius of long-range aircraft (LRA) operation areas for Airline Y

Тип ДМС	Время ухода на МЗА	
	60 минут	180 минут
Тип 1 – 2х-двигательный	444 NM	1306 NM
Тип 2 – 4х-двигательный	–	1500 NM
Тип 3 – 2х-двигательный	431 NM	1272 NM

Указанные в табл. 1 фиксированные значения, выбранные эксплуатантом, закладываются в систему планирования полетов и используются для построения маршрутов ДМС. Кроме того, указанные значения радиусов ЗО ДМС откладываются от характерных МЗА на картах прокладки маршрутов Plotting Chart³, выпускаемых по заказу эксплуатанта.

Использование фиксированных значений радиусов ЗО, определенного методом «свободного выбора» значения из таблицы FPPM, имеет ряд существенных методических недостатков, связанных с учетом уменьшения массы ДМС в полете, вызванным сгоранием топлива. Недостатки будут устранены с помощью Microsoft Excel 2019 и полиномиальной аппроксимации таблично заданной функции зависимости радиуса ЗО от массы ДМС, на основе результатов которой разработан усовершенствованный алгоритм определения ЗО.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАВИСИМОСТИ РАДИУСА ЗОНЫ ОПЕРИРОВАНИЯ ОТ МАССЫ ДАЛЬНЕМАГИСТРАЛЬНОГО САМОЛЕТА

Определение радиуса ЗО производится путем расчета расстояния, которое пролетит ДМС при возникновении одного из двух критических сценариев: отказа двигателя для двухдвигательных ДМС и разгерметизации для ДМС с количеством двигателей более двух, следовательно, приборные скорости ухода обозначаются как One-Engine Inoperative Speed (OEI) для двухдвигательных ДМС и All-Engine Operative Speed (AEO) для ДМС с количеством двигателей более двух [2]. Выбор оптимальной OEI для двухдвигательного ДМС главным образом зависит от фактора наличия препятствий (рельефа) вдоль возможных траекторий ухода на МЗА. Каждой OEI соответствует заданная (оптимальная) высота ухода на МЗА, которая будет тем выше, чем меньше OEI. Определить оптимальные высоты при подборе OEI можно с помощью номограмм для каждой OEI в FPPM⁴.

Из номограмм FPPM видно, что оптимальная высота полета зависит не только от OEI, но и от массы самолета в точке отказа двигателя – начала снижения для ухода на МЗА с OEI. Логично заметить, что чем больше масса, тем меньше будет оптимальная высота ухода при вы-

³ Jeppesen Plotting Charts [Электронный ресурс]. URL: <http://ww1.jeppesen.com/documents/support/aviation/document/plotting-charts-2010.pdf> (дата обращения 12.10.2020).

⁴ Boeing 777-300ER Flight Planning and Performance Manual: Flight Operations Engineering Boeing Commercial Airplane Group, Seattle, Washington, USA, Document Number: D632W003-WY110, Revision Number: 00, Revision Date: 30 March, 2012.

держивании заданной OEI, а, следовательно, самолет пролетит меньшее расстояние при той же приборной OEI, так как истинная скорость на меньшей высоте будет меньше, а значит радиус ЗО будет больше. Опустим сам вопрос пересчета времени ухода в единицы расстояния в штилевых условиях, так как возможны разные методы, один из которых предложен в статье [3], и рассмотрим готовые таблицы ETOPS Area of Operation из FPPM Boeing 777-300ER (табл. 2). На большинстве маршрутов минимальная безопасная высота GRID MORA в ЗО позволяет использовать максимальную скорость ухода на МЗА. Для Boeing 777-300ER эксплуатанты обычно выбирают максимальную OEI M0.84/320 KIAS. Выберем фрагмент таблицы для наиболее характерных значений времен ухода на МЗА – 60, 90, 120 и 180 минут.

Таблица 2
Table 2

Радиусы зон оперирования ETOPS Boeing 777-300ER на скорости M0.84/320 KIAS в NM⁵
ETOPS Area of Operation radius Boeing 777-300ER on M0.84/320 KIAS speed in NM⁵

Масса в точке отказа двигателя (тонны)	Время ухода на МЗА (минуты)			
	60	90	120	180
360	425	632	839	1252
340	433	643	853	1273
320	439	652	865	1291
300	444	659	875	1306
280	450	668	885	1321
260	456	677	897	1339
240	462	686	910	1358
220	467	694	922	1376
200	472	702	933	1393
180	475	708	940	1405
160	477	712	946	1414
Изменение радиуса (R) ЗО	52	80	107	162

На основании данных таблицы с использованием Microsoft Excel 2019 определим зависимости радиуса ЗО R от массы ДМС в точке отказа двигателя m (рис. 1).

Возможности Microsoft Excel 2019 позволяют автоматически произвести аппроксимацию табличных данных с вычислением уравнения. Наиболее точно описывает указанные графики полином второй степени, уравнения $R=f(m)$ приведены на рис. 1. Степень достоверности такой аппроксимации достаточно высокая: 60 минут – 0,9978; 90 минут – 0,9983; 120 минут – 0,9974; 180 минут – 0,9978. Отметим, что изменение радиуса ЗО при изменении массы от минимальной до максимальной может составлять от 52 NM при 60 минутах и 162 NM при 180 минутах, а отсюда следует, что чем выше время ухода на МЗА, тем больше изменение радиуса ЗО.

⁵ Boeing 777-300ER Flight Planning and Performance Manual: Flight Operations Engineering Boeing Commercial Airplane Group, Seattle, Washington, USA, Document Number: D632W003-WY110, Revision Number: 00, Revision Date: 30 March, 2012.

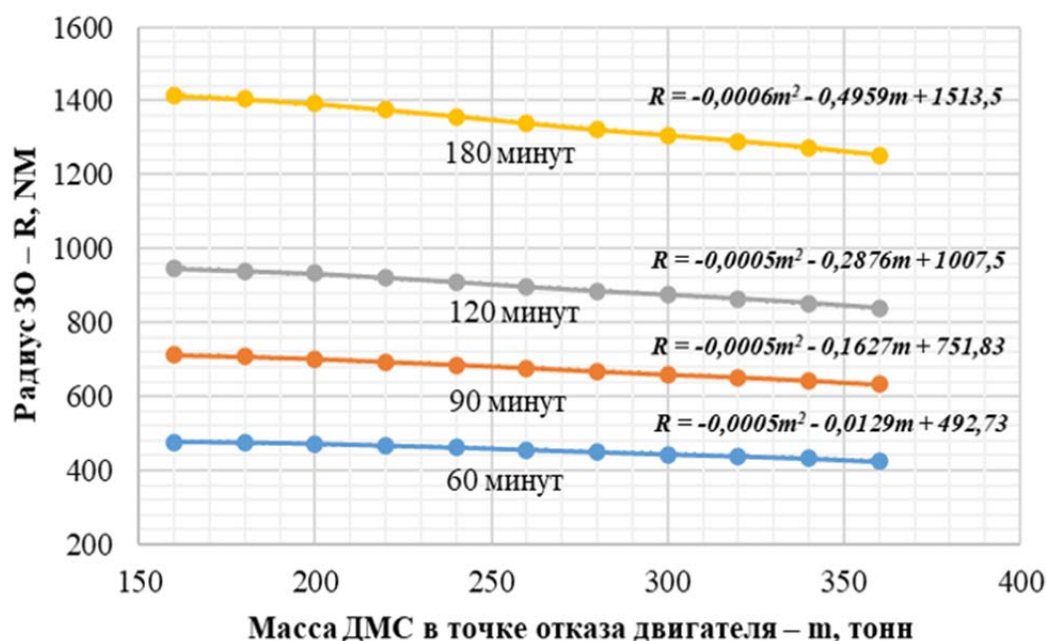


Рис. 1. Графики зависимости радиуса ЗО от массы ДМС в точке отказа двигателя
Fig. 1. Graphs of the Area of Operation radius dependence on the LRA mass at the point of engine failure

Полученные уравнения и графики для Boeing 777-300ER опубликованы впервые и будут использованы далее для определения радиуса ЗО в новом алгоритме. Аналогичные уравнения могут быть вычислены и для других значений ОЕИ или АЕО, времен ухода, а также типов ДМС.

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАДИУСОВ ЗОН ОПЕРИРОВАНИЯ ДАЛЬНЕМАГИСТРАЛЬНЫХ САМОЛЕТОВ

Алгоритм определения ЗО ДМС является частью более крупного алгоритма планирования полетов, куда входят алгоритмы построения маршрута в воздушном пространстве ОВД и выбора МЗА. Алгоритм планирования полетов формализован в системах планирования полетов, используемых авиакомпаниями таких, как Sabre, Jeppesen JetPlanner Pro, SITA и/или других. Первичным является алгоритм построения маршрута в структуре воздушного пространства [4], затем следует алгоритм подбора МЗА, который в данный момент совмещен с определением ЗО ДМС [5]. Алгоритм циклический и если, например, невозможно подобрать МЗА с указанным сертифицированным для ДМС радиусом ЗО, то он изменяет маршрут в структуре воздушного пространства [6]. Из сложного алгоритма планирования полетов в компьютерной системе выделим алгоритм определения выбора МЗА и определения-построения ЗО ДМС (рис. 2).

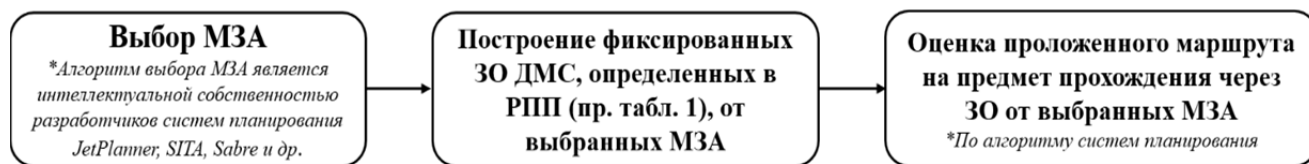


Рис. 2. Существующий алгоритм определения ЗО ДМС
Fig. 2. Existing algorithm for determining AO of LRA

В недостатках существующего алгоритма определения ЗО ДМС нельзя обвинять разработчиков систем планирования или авиакомпании, ведь они вынуждены руководствоваться нормативными документами, такими, как Boeing ETOPS Guide и новым ICAO Doc 10085 «Руководство по EDTO». В Boeing ETOPS Guide⁶ прямо указано, что необходимо брать наибольший полетный вес (в примере 280 тонн) на участке радиуса ETOPS от 60 минут. Каким образом вычисляется данный вес не сказано, что и приводит к непониманию эксплуатантами, какую массу для определения радиуса ЗО ДМС выбирать. Очевидно, что в каждом полете даже расчетная взлетная масса, обозначаемая в системах планирования как Estimated Take-off Weight (ETOW), будет разная, так как заправка и коммерческая загрузка разные. «Свежий» Doc 10085⁷ также не дает никаких разъяснений по определению массы ДМС для расчета ЗО, лишь сказано, что необходимо руководствоваться эксплуатационной документацией ДМС. Получается, что главным недостатком существующего алгоритма является отсутствие учета увеличения радиуса ЗО вследствие изменения массы ДМС, что показано выше.

Основой нового алгоритма является вычисление расчетной массы ДМС в наиболее удаленной точке от каждого МЗА, то есть массы в наиболее удаленной точке возможного отказа двигателя, которая используется для расчета радиуса ЗО. В связи с недостатками существующего алгоритма первая задача, которая подлежит решению является определение первоначального радиуса ЗО, а значит определения первоначальной массы в критической точке. В большинстве случаев в качестве первого МЗА выбирается аэродром вылета, что обусловлено как причинами его пригодности по метеоусловиям и NOTAM, так и по наличию средств обслуживания и/или представительства авиакомпании, поэтому целесообразно определить массу для расчета первоначального радиуса ЗО как разницу между расчетной взлетной массы ETOW и расчетной израсходованной массы топлива за сертифицированное время ухода на МЗА – ΔQ . Его легко вычислить по номограммам и таблицам FCOM и FPPM⁸ или непосредственно в системе планирования полетов.

Масса для определения первоначального радиуса ЗО M_{R0} вычисляется по формуле (1):

$$M_{R0} = ETOW - \Delta Q. \quad (1)$$

По вычисленной из формулы (1) массы M_{R0} с использованием представленных выше таблиц или формул определяется первоначальный радиус ЗО. Затем с использованием системы планирования в горизонтальной плоскости осуществляется построение ЗО с постоянным первоначальным радиусом R_0 от выбранных МЗА [7]. С помощью системы планирования полетов определим точки выхода из ЗО МЗА (рис. 3). Обозначим их как критические точки Critical Point (CP, КТ) и отметим, что определение КТ более целесообразно при построении маршрута ДМС, чем определение равноудаленных точек Equal Time Point (ETP)^{6,7}, так как фактическое положение ETP будет отлично от расчетного для штилевых условий положения, а также по другим причинам, связанным с безопасностью полета ДМС [8].

Система планирования полетов определяет не только КТ, но и расчетные массы ДМС в данных точках $M_{R0}, M_{R1}, \dots, M_{Rn}$, которые в дальнейшем будем использовать для расчета новых радиусов ЗО. Сами КТ, массы в КТ, а также рассчитанные по новым массам радиусы рекомендуется публиковать в рабочем плане полета Operational Flight Plan (OFP, табл. 3). Уточним, что обычно публикуется не масса ДМС, а расчетный остаток топлива на борту.

⁶ ETOPS Guide Volume III «Operational Guidelines and Methods»: Flight Operations Engineering Boeing Commercial Airplane Group, Seattle, Washington, USA, rev. 2, 6 March, 2009. P. 4.33.

⁷ Doc 10085. Руководство по производству полетов с увеличенным временем ухода на запасной аэродром (EDTO). Монреаль: ИКАО, 1-е изд., 2017. С. 3-2. Перевод времени ухода на МЗА в единицы расстояния.

⁸ Boeing 777-300ER Flight Planning and Performance Manual: Flight Operations Engineering Boeing Commercial Airplane Group, Seattle, Washington, USA, Document Number: D632W003-WY110, Revision Number: 00, Revision Date: 30 March, 2012.

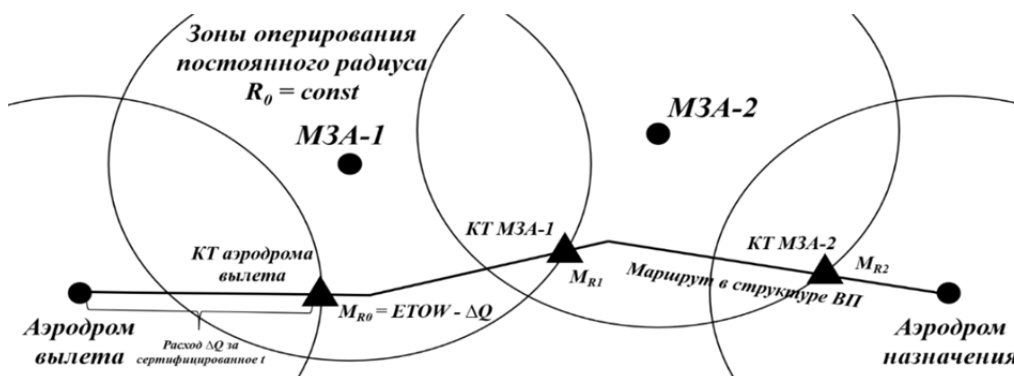


Рис. 3. Первый этап построения ЗО и определение КТ
Fig. 3. First Stage of AO building and CP determining

Таблица 3
Table 3

Пример фрагмента OFP с определением КТ и радиусов ЗО
Example of an OFP fragment with the determination of CP and AO radius

Пункт маршрута	Маршрут ОВД	Эшелон полета	Остаток топлива, кг	Радиусы ЗО Area of Operation
LI717	KERIS 1A	CLB	62 043	
OLBID	R496	FL350	51 354	
ABELO	T631	FL350	49066	
CP EA ULLI	A920	FL350	45 523	Radius 1346 NM ETOPS 180
LASAD	A91	FL390	26 204	
TEPOD	B451	FL390	20 403	
CP EA UIBB	B451	FL390	15 250	Radius 1370 NM ETOPS 180

Колонка 5 табл. 3 с указанием радиусов ЗО может быть опубликована как строкой под CP EA ULLI (ИКАО-код МЗА), так и в любом другом месте OFP, это зависит от системы планирования. Вторым этапом необходимо построить новые радиусы ЗО от МЗА и убедиться, что вновь построенные ЗО покрывают маршрут (рис. 4).

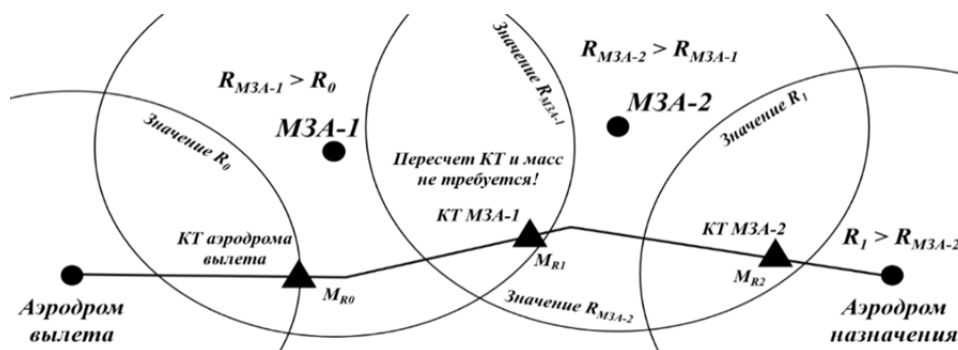


Рис. 4. Второй этап – построение ЗО с новыми значениями радиусов
Fig. 4. The second stage – building AO with new radii values

Можно отметить, что полученные при построении новых ЗО КТ сместятся из-за изменения радиусов ЗО, а значит и массы ДМС в них будут другие, следовательно можно провести еще несколько итераций по увеличению радиуса ЗО, однако это не рекомендуется делать по ряду причин.

1. Добавочное увеличение радиуса ЗО за счет каждой итерации крайне невелико и будет в большинстве случаев не более 1 NM из расчета изменения радиуса 1 NM на тонну массы, что видно из табл. 2. Кроме того, изменения радиуса ЗО не коснутся аэродрома вылета, выбранного в качестве первого МЗА.

2. Допуски, установленные Приложением 6 ИКАО⁹ на работу критически важных систем EDTO, составляют 15 минут, что в единицах расстояния на порядки больше 1 NM.

3. Разработанный алгоритм должен быть понятным не только компьютеру, для которого количество итераций безразлично, но летному и полетно-диспетчерскому составу, который будет выполнять и обслуживать полет ДМС. Например, при публикации начальных КТ в OFP, для экипажа будет понятно, какие значения масс использовались для расчета радиусов ЗО.

Определенные ЗО и КТ, по которым производилось вычисление рекомендуется отображать на полетной карте в электронных полетных планшетах пилотов и на экране навигационных дисплеев. Отображение КТ, включенных в файл маршрута бортового компьютера, на навигационных дисплеях не имеет сложностей и может быть выполнено автоматически при загрузке маршрута по ACARS в отличие от отображения ЗО [9]. Пилотажно-навигационные комплексы большинства эксплуатируемых ДМС, как и электронные планшеты пилотов не имеют возможности автоматического отображения ЗО, но можно это осуществить вручную. На самолетах Boeing это выполняется на странице FIX бортового компьютера: вводится ИКАО-код МЗА и радиус ЗО, что отображает ЗО на навигационном дисплее зелеными линиями. Отображение ЗО от МЗА на навигационном дисплее повышает информационную поддержку экипажа при принятии решения об уходе на МЗА, в частности при полете EDTO-ETOPS, что крайне важно для повышения безопасности полетов ДМС⁷.

4. Итерационный перерасчет положения КТ, масс и радиусов ЗО неоправданно усложняет алгоритм при необходимости выбора меньшей OEI из-за наличия препятствий. Это обусловлено тем, что высота снижения на одном отказавшем двигателе Driftdown Altitude будет тем больше, чем меньше OEI. Например, при OEI 320 KIAS она составляет от 8000 до 21800 ft, а при OEI 260 KIAS от 9800 до 29600 ft в зависимости от массы и температуры¹⁰. В любом случае расчетная Driftdown Altitude не должна быть ниже GRID MORA.

Дополним разработанный алгоритм важными деталями: радиус ЗО зависит не только от массы, но и от выбранной OEI/АЕО. Расчет первоначального радиуса ЗО рекомендуется производить при максимальной OEI, допущенной производителем ДМС (для Boeing 777-300ER M0.84/320 KIAS), даже если в ЗО аэродрома вылета имеются препятствия, требующие уменьшить OEI. Первоначальный расчет и построение ЗО по максимальной OEI необходим по той причине, что на земном шаре в принципе нет маршрутов ДМС (более 3000 NM) на которых в более, чем двух ЗО от МЗА имеются препятствия, требующие уменьшения OEI. Очевидно, что при полете, например, над океаном целесообразно брать максимальную OEI для расчета ЗО.

⁹ Приложение 6. Эксплуатация воздушных судов. Часть I. Международный коммерческий воздушный транспорт. Самолеты. 10-е изд. Монреаль: ИКАО, июль 2016.

¹⁰ Boeing 777-300ER Flight Planning and Performance Manual: Flight Operations Engineering Boeing Commercial Airplane Group, Seattle, Washington, USA, Document Number: D632W003-WY110, Revision Number: 00, Revision Date: 30 March, 2012.

Чаще всего имеет место быть ситуация наличия препятствий в одной из ЗО по маршруту. Например, при полете через Северную Атлантику при выборе МЗА на территории Гренландии (рис. 5).

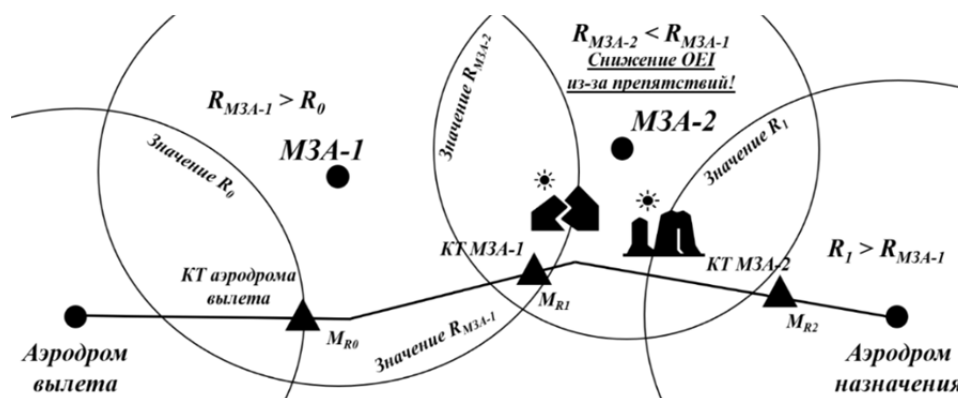


Рис. 5. Вычисление уменьшенных радиусов ЗО при наличии препятствий
Fig. 5. Calculating reduced areas of operation radii in the presence of obstacles

В таком случае следует произвести расчет КТ по максимальной массе, а затем, в ЗО от МЗА, где имеются препятствия расчет радиуса произвести по уменьшенной ОЕИ. Отображение уменьшенной ЗО крайне важно для экипажа, так как он будет осуществлять уход на МЗА на сниженной ОЕИ, выдерживая необходимый запас высоты над препятствиями¹¹.

В теории и практике полетно-диспетчерского обслуживания ДМС может сложиться следующая ситуация: система планирования полетов и/или полетный диспетчер, как оператор данной системы обнаружит, что фиксированные ЗО (табл. 1) от выбранных МЗА не покрывают маршрут, следовательно планировать такие МЗА нельзя и существует три варианта решения данной проблемы.

1. Подбор других МЗА – не всегда возможно.
2. Изменение или удлинение маршрута – экономически не выгодно.
3. Увеличение сертифицированного времени ухода на МЗА – экономически не выгодно.

Новый алгоритм позволит решить эту ситуацию без потерь за счет точного выбора первоначального радиуса и увеличения радиусов ЗО от выбираемых МЗА (рис. 6).

В числе прочего можно разобрать случаи, когда первый МЗА не является аэродромом вылета, однако при таком раскладе также рекомендуется дополнительно использовать ЗО от аэродрома вылета для первоначального расчета радиуса. Радиус ЗО первого МЗА будет увеличен, если он находится далее по маршруту, чем аэродром вылета за счет того, что в КТ от первого МЗА ДМС будет иметь меньшую массу, чем в КТ от аэродрома вылета, который в указанном случае не используется в качестве МЗА. В случае, если первый МЗА находится до аэродрома вылета, что крайне редко, то его ЗО будет уменьшена соответственно массе в КТ от данного МЗА, изначально определенной по первоначальному радиусу (рис. 7).

¹¹ ETOPS Guide Volume III «Operational Guidelines and Methods»: Flight Operations Engineering Boeing Commercial Airplane Group, Seattle, Washington, USA, rev. 2, 6 March, 2009. P. 4.33.

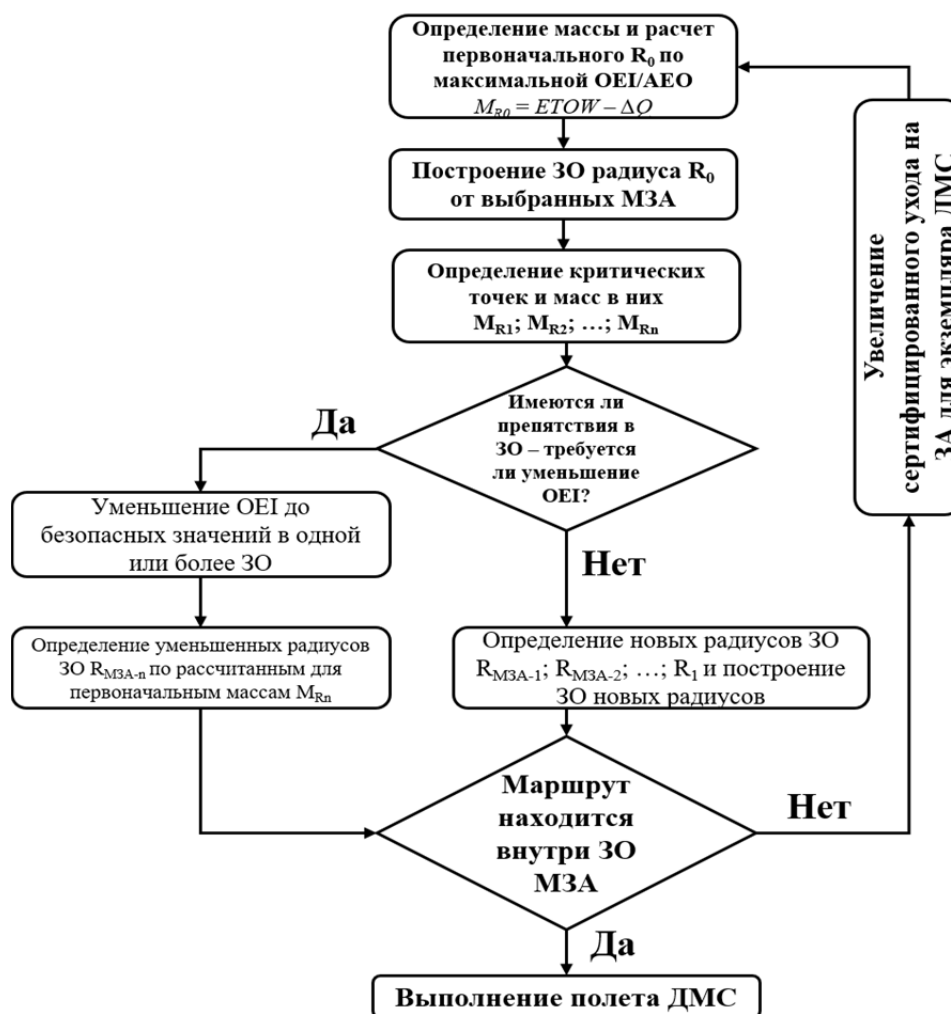


Рис. 6. Новый алгоритм определения ЗО ДМС
Fig. 6. The new algorithm for determining AO of LRA

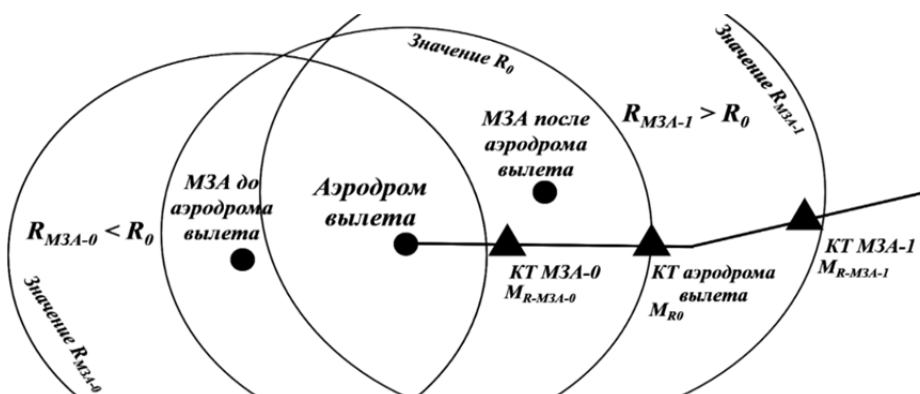


Рис. 7. Расчет радиусов ЗО при аэродроме взлета, не являющимся МЗА
Fig. 7. Calculation of AO radii at the departure aerodrome that is not en route alternate aerodrome

Из рис. 7 видно, что КТ таких МЗА, публикуемые в OFP, будут располагаться соответственно ближе или дальше границ ЗО от данных МЗА.

ОБСУЖДЕНИЕ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработанный алгоритм имеет ряд преимуществ, основным из которых является использование обоснованных значений радиусов ЗО при планировании полета ДМС. Авиакомпаниям все чаще сталкиваются с проблемами выбора МЗА на кратчайшем маршруте [10]. Так, разработанный алгоритм поможет не только решить проблему выбора кратчайшего маршрута Москва – Якутск авиакомпании Аэрофлот при утверждении порогового времени EDTO 90 минут для Boeing 737-800, но и оптимизировать маршрут при существующем ограничении 60 минут [11]. Дороговизна сертификации ДМС авиакомпаний для полетов EDTO-ETOPS вынуждает их идти на нарушения и подвергать угрозе безопасность полетов [12]. Так, в 2019 году Росавиация лишила авиакомпанию Nordwind права выполнять полеты по ETOPS на своем флоте Boeing 777¹². Новый алгоритм позволит значительно оптимизировать полеты через Северную Атлантику при использовании порогового времени 90 минут для двухдвигательных ДМС и при существующих 60 минутах, что позволит снизить расходы даже при введенных ограничениях сертификата эксплуатанта [13].

Предложенный алгоритм может стать альтернативой постоянному увеличению сертификационного времени ухода на МЗА [14]. Изначально траектории в Северной Атлантике подразумевали использование ЗО ETOPS минимум 120 минут, что требовало дополнительной подготовки экипажа [15]. В 90-х и двухтысячных годах FAA последовательно принимало решения о еще большем увеличении сертификационного времени (до 330 минут для Boeing 777¹³), что позволило авиакомпаниям выполнять полеты практически без МЗА [16], но также встретило и сопротивление летного состава, который был против временного увеличения ЗО ДМС и считал такое увеличение небезопасным [17].

Дальнемагистральные перевозки наиболее подвержены экономическому кризису, зачастую становятся убыточными и авиакомпании вынуждены покрывать затраты на них за счет среднемагистральных рейсов, так как этот сегмент перевозок имеет наиболее длительный период восстановления [18, 19, 20]. Разработанный алгоритм позволит оптимизировать затраты авиакомпании на эксплуатацию ДМС в условиях экономического кризиса, например, за счет сокращения сертифицированного времени ухода на запасной аэродром.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Абрамов Б.А., Акопян К.Э., Шапкин В.С.** Проблемы эксплуатации воздушных судов иностранного производства // Научный Вестник МГТУ ГА. 2011. № 163. С. 14–23.
2. **Коваленко Г.В., Микинелов А.Л., Чепига В.Е.** Летная эксплуатация. Ч. 1: учебное пособие для вузов / Под ред. Г.В. Коваленко. 2-е изд. Санкт-Петербург: Наука, 2016. 462 с.
3. **Кузнецов С.В., Марасанов Л.О., Перегудов Г.Е.** Научно-практические аспекты производства полетов с использованием RVSM, PBN, CATII и CATIII, EDTO/ETOPS, TCAS, EGPWS и EFB // Научный Вестник МГТУ ГА. 2017. Т. 20, № 1. С. 177–185.
4. **Рудельсон Л.Е.** Алгоритмические задачи автоматизации планирования использования воздушного пространства // Научный Вестник МГТУ ГА. 2010. № 159. С. 113–120.

¹² Nordwind увеличит полетное время части рейсов из-за ограничения сертификата Росавиацией [Электронный ресурс] // Aviation Explorer-содружество авиационных экспертов. URL: <https://www.aex.ru/news/2019/3/26/195473> (дата обращения 29.07.2020).

¹³ Boeing 777 разрешили летать 330 минут по ETOPS [Электронный ресурс] // Авиатранспортное обозрение-Деловой авиационный портал ATO.RU. URL: <http://www.ato.ru/content/boeing-777-razreshili-letat-330-minut-po-etops> (дата обращения 15.07.2020).

5. **Abdelghany A., Abdelghany K., Azadian F.** Airline flight schedule planning under competition // *Computers and Operations Research*. 2017. Vol. 87. Pp. 20–39. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cor.2017.05.013>
6. **Shaolin H.** The flight path programming with time constraint // *Proceedings of the 24th Chinese Control Conference*, 2005. Vols 1 and 2. Pp. 1339–1340.
7. **Данилин П.Е., Кочнева Е.В., Кузнецов А.Г.** Горизонтальные аспекты построения плана самолета // *Труды МИЭА. Навигация и управление летательными аппаратами*. 2011. № 3. С. 58–63.
8. **Куц К.А.** Противоречия правил EDTO-ETOPS // *Проблемы летной эксплуатации и безопасность полетов*. 2020. № 14. С. 119–127.
9. **Маркелов В.В.** Реализация построения маршрутных траекторий для отображения на бортовых многофункциональных индикаторах / В.В. Маркелов, М.О. Костишин, И.О. Жаринов, В.А. Нечаев // *Информационно-управляющие системы*. 2016. № 1 (80). С. 40–49. DOI: 10.15217/issn1684-8853.2016.1.40
10. **Orhan I., Kapanoglu M., Karakoc T.H.** Planning and scheduling of airline operations // *Pamukkale University Journal of Engineering Sciences*. 2010. Vol. 16, no. 2. Pp. 181–191.
11. **Щербаков Л.К.** О проблемных вопросах запасных аэродромов ДФО [Электронный ресурс] // *Aviation Explorer-содружество авиационных экспертов*. URL: <https://www.aex.ru/docs/4/2019/4/3/2903/> (дата обращения 15.07.2020).
12. **Murat Afsar H., Espinouse M., Penz B.** Building flight planning for an airline company under maintenance constraints // *Journal of Quality in Maintenance Engineering*. 2009. Vol. 15, no. 4. Pp. 430–443. DOI: <https://doi.org/10.1108/13552510910997788>
13. **Kaiser M., Schultz M., Fricke H.** Enhanced jet performance model for high precision 4D flight path prediction // *ATACCS '11: Proceedings of the 1st International Conference on Application and Theory of Automation in Command and Control Systems*, 2011. Pp. 33–40.
14. **Mashford J., Marksjö B.** Airline base schedule optimization by flight network annealing // *Annals of Operations Research*. 2001. Vol. 108. Pp. 293–313. DOI: <https://doi.org/10.1023/A:1016027516013>
15. **Whelan C.** Operating in the North Atlantic MNPS airspace // *The Journal of Navigation*. 1999. Vol. 52, no. 1. Pp. 11–27. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0373463398008091>
16. **Пэнди М.** Новые правила FAA относительно полетов ETOPS // *Проблемы безопасности полетов*. 2008. № 1. С. 13а.
17. **Proctor P.** Airline pilots coalition fights 207-min. ETOPS plan // *Aviation Week & Space Technology*. 2000. Vol. 152, no. 12. P. 52.
18. **Опрышко Ю.В.** Моделирование величины эксплуатационных затрат дальнемагистрального самолета // *Конкурентоспособность в глобальном мире: экономика, наука, технологии*. 2017. № 11 (58). С. 764–778.
19. **Dožic S., Kalić M.** Three-stage airline fleet planning model // *Journal of Air Transport Management*. 2015. Vol. 46. Pp. 30–39.
20. **Мезенцев Ю., Эстрайх И.** Оптимальное распределение флота и проблема планирования полетов для авиакомпании // *Труды Российской Высшей школы Академии наук*. 2018. № 3 (40). С. 74–90. DOI: <http://dx.doi.org/10.17212/1727-2769-2018-3-74-90>

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ

Куц Константин Анатольевич, аспирант, Санкт-Петербургский государственный университет гражданской авиации, pilotkuts@ya.ru.

IMPROVING THE ALGORITHM FOR DETERMINING THE AREAS OF OPERATION OF LONG-RANGE AIRCRAFT

Konstantin A. Kuts¹

¹ Saint-Petersburg State University of Civil Aviation, Saint-Petersburg, Russia

ABSTRACT

The determination of operation area from en-route alternates for long-range airline aircraft is an important aspect of ensuring safety of the upcoming flight. In the domestic and foreign methodological literature on flight planning, including the guidance material for flight planning systems, there is no single reasonable algorithm for constructing operation areas of long-range aircraft, including the use of the EDTO-ETOPS rules. The lack of methodological materials leads to the «free» values determination of areas of operation by airlines for their long-range aircraft while building routes, in particular, when determining the areas of operation on the route, the decrease in the aircraft weight during fuel combustion is ignored. A big question is also the «initial» mass calculations to determine the value of operation areas. The article identifies shortcomings of existing algorithm for identifying the areas of operation based on the fundamental methods for determining area of operation. Microsoft Excel 2019 has been used to perform a polynomial approximation of the table-specific function of the dependence of operation radius on the mass of a long-range aircraft. Based on the certain equations, more advanced algorithm to determine areas of operation has been developed. The new algorithm pays special attention to the selection of the original value of operation area. The calculations in this article are made for the Boeing 777 as the main type of long-range aircraft operated by airlines in the Russian Federation. The developed algorithm increases the flexibility of the route by increasing the radius of operation areas from en-route alternates and can be used in flight planning systems of airlines.

Key words: area of operation, en-route alternate, EDTO, ETOPS, one-engine inoperative speed OEI, all-engine operative speed AEO, long-range aircraft, Boeing 777.

REFERENCES

1. Abramov, B.A., Akopyan, K.E. and Shapkin, V.S. (2011). *Foreign-built aircraft operation problems*. Nauchnyy Vestnik MGTU GA, no. 163, pp. 14–23. (in Russian)
2. Kovalenko, G.V., Mikelov, A.L. and Chepiga, V.E. (2016). *Letnaya ekspluatatsiya. Chast 1: uchebnoye posobiye dlyya VUZov* [Flight operation. Part 1: Tutorial for universities], in Kovalenko G.V. (Ed.). 2nd ed. St.Petersburg: Nauka, 462 p. (in Russian)
3. Kuznetsov, S.V., Marasanov, L.O. and Peregudov, G.E. (2017). *Scientific and practical aspects of flight operations with RVSM, PBN, CATII, CATIII, EDTO/ETOPS, TCAS, EGPWS, EFB*. Civil Aviation High Technologies, vol. 20, no. 1, pp. 177–185. (in Russian)
4. Rudelson, L.E. (2010). *Algorithmic problems of automatization of planning of use of air space*. Nauchnyy Vestnik MGTU GA, no. 159, pp. 113–120. (in Russian)
5. Abdelghany, A., Abdelghany, K. and Azadian, F. (2017). *Airline flight schedule planning under competition*. Computers and Operations Research, vol. 87, pp. 20–39. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cor.2017.05.013>
6. Shaolin, H. (2005). *The flight path programming with time constraint*. Proceedings of the 24th Chinese Control Conference, vols 1 and 2, pp. 1339–1340.
7. Danilin, P.E., Kochneva, E.V. and Kuznetsov, A.G. (2011). *Horizontal aspects of the flight plan generation*. Trudy MIEA. Navigatsiya i upravleniye letatelnyimi apparatami, no. 3, pp. 58–63. (in Russian)
8. Kuts, K.A. (2020). *Contradictions of edto-etops regulations*. Problemy letnoy ekspluatatsii i bezopasnost poletov, no. 14, pp. 119–127. (in Russian)
9. Markelov, V.V., Kostishin, M.O., Zharinov, I.O. and Nechaev, V.A. (2016). *Forming route trajectories for airborne multi-function displays*. Information and Control Systems, no. 1 (80), pp. 40–49. DOI: 10.15217/issn1684-8853.2016.1.40. (in Russian)

10. Orhan, I., Kapanoglu, M. and Karakoc, T.H. (2010). *Planning and scheduling of airline operations*. Pamukkale University Journal of Engineering Sciences, vol. 16, no. 2, pp. 181–191.
11. Scherbakov, L.K. (2019). *O problemnykh voprosakh zapasnykh aerodromov DFO* [About problematic issues of Far East Airfields] Aviation Explorer-sodruzhestvo aviatsionnykh ekspertov. Available at: <https://www.aex.ru/docs/4/2019/4/3/2903/> (accessed 15.07.2020). (in Russian)
12. Whelan, C. (1999). *Operating in the North Atlantic MNPS airspace*. The Journal of Navigation, vol. 52, no. 1, pp. 11–27. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0373463398008091>
13. Murat Afsar, H., Espinouse, M. and Penz, B. (2009). *Building flight planning for an airline company under maintenance constraints*. Journal of Quality in Maintenance Engineering, vol. 15, no. 4, pp. 430–443. DOI: <https://doi.org/10.1108/13552510910997788>
14. Kaiser, M., Schultz, M. and Fricke, H. (2011). *Enhanced jet performance model for high precision 4D flight path prediction*. ATACCS '11: Proceedings of the 1st International Conference on Application and Theory of Automation in Command and Control Systems, pp. 33–40.
15. Mashford, J. and Marksjö, B. (2001). *Airline base schedule optimization by flight network annealing*. Annals of Operations Research, vol. 108, pp. 293–313. DOI: <https://doi.org/10.1023/A:1016027516013>
16. Pandey, M. (2008). *Novyye pravila FAA otnositelno poletov ETOPS* [New FAA rules regarding ETOPS flights]. Problemy bezopasnosti poletov, no. 1, p. 13a. (in Russian)
17. Proctor, P. (2000). *Airline pilots coalition fights 207-min. ETOPS plan*. Aviation Week & Space Technology, vol. 152, no. 12, p. 52.
18. Opryshko, U.V. (2017). *Modelirovaniye velichiny ekspluatatsionnykh zatrat dalnemagistralnogo passazhirskogo samoleta* [Modeling the value of long-range aircraft operating costs]. Konkurentosposobnost v globalnom mire: ekonomika, nauka, tekhnologii, no. 11 (58), pp. 764–778. (in Russian)
19. Dožić, S. and Kalić, M. (2015). *Three-stage airline fleet planning model*. Journal of Air Transport Management, vol. 46, pp. 30–39.
20. Mezentsev, U. and Estraykh, I. (2018). *An optimal fleet assignment and flight scheduling problem for an airline company*. Proceedings of the Russian Higher School Academy of Sciences, no. 3 (40), pp. 74–90. DOI: <http://dx.doi.org/10.17212/1727-2769-2018-3-74-90>. (in Russian)

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Konstantin A. Kuts, Post Graduate Student, Saint-Petersburg State University of Civil Aviation, pilotkuts@ya.ru.

Поступила в редакцию 10.09.2020
Принята в печать 26.11.2020

Received 10.09.2020
Accepted for publication 26.11.2020